

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06228824 A**

(43) Date of publication of application: **16.08.94**

(51) Int. Cl		D01F 9/12 B01D 61/14 C01B 31/02 C30B 33/00	
(21) Application number:	05014387	(71) Applicant:	NEC CORP
(22) Date of filing:	01.02.93	(72) Inventor:	HIURA HIDEFUMI EBUSON TOOMASU

(54) METHOD FOR PURIFYING CARBON-NANOTUBE

(57) Abstract:

PURPOSE: To obtain a carbon.nanotube having a uniform molecular weight and size by dispersing a crude product containing the carbon.nanotube in a liquid with ultrasonic waves, passing the resultant dispersion through a chromatographic column and separating the carbon.nanotube.

CONSTITUTION: A crude product containing a carbon.nanotube is dispersed in a liquid with ultrasonic

waves. When a surfactant is added, the dispersion state is improved and preferred for preventing the condensation. The dispersion is further passed through a chromatographic column to separate carbonaceous substances other than the nanotube and nanoparticles. Thereby, the carbon.nanotube is separated by a difference in developing speed in the column. The nanotube uniform in regard to electric conductivity can be obtained by electrostatic separation.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-228824

(43)公開日 平成6年(1994)8月16日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
D 0 1 F 9/12		7199-3B		
B 0 1 D 61/14	5 0 0	8014-4D		
C 0 1 B 31/02	1 0 1 Z			
C 3 0 B 33/00		8216-4G		

審査請求 有 請求項の数5 O.L. (全7頁)

(21)出願番号 特願平5-14387

(22)出願日 平成5年(1993)2月1日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 日浦 英文

東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式
会社内

(72)発明者 エブソン トーマス

東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式
会社内

(74)代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54)【発明の名称】 カーボン・ナノチューブの精製法

(57)【要約】

【目的】 炭素アーク放電によって生成するカーボン・ナノチューブの精製法の改良し、工業的、特に電気産業分野のために、良質のカーボン・ナノチューブを提供する。

【構成】 カラム・クロマトグラフィ、膜、超遠心、静電的帯電、界面活性剤を利用することによって、カーボン・ナノチューブ間、カーボン・ナノチューブとカーボンナノ粒子間、カーボン・ナノチューブと無定型炭素間の分子量、形状、立体的大きさ、比重、電気的特性の差異に基づいて分離する精製法であり、直径、アスペクト比、電気伝導度が均一で良質のカーボン・ナノチューブを得ることが可能である。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 カーボン・ナノチューブを含む粗生成物を溶媒中に超音波を用いて分散させ、その溶液をクロマトグラフィ用カラムに通すことによりナノチューブとナノ粒子以外の炭素物質を分離し、さらに、ナノチューブとナノ粒子の分子量、形状の差によるカラム中での展開速度の相違により、カーボン・ナノチューブを分離するカラム・クロマトグラフィを用いたことを特徴とするカーボン・ナノチューブの精製法。

【請求項2】 カーボン・ナノチューブを含む粗生成物を溶媒中に超音波を用いて分散させ、その溶液をマイクロメートルからナノメートルオーダーの所望の孔径を有する膜でろ過することを特徴とするカーボン・ナノチューブの精製法。

【請求項3】 カーボン・ナノチューブを含む粗生成物を溶媒中に超音波を用いて分散させ、その溶液から遠心分離機を用いてカーボン・ナノチューブを分離することを特徴とするカーボン・ナノチューブの精製法。

【請求項4】 請求項1乃至3記載のカーボン・ナノチューブの精製法において、カーボン・ナノチューブを含む粗生成物を溶媒中に超音波を用いて分散させる際に、界面活性剤を添加することを特徴とするカーボン・ナノチューブの精製法。

【請求項5】 請求項1乃至4記載のカーボン・ナノチューブの精製法により分離したカーボン・ナノチューブを、回転ドラムにばらまき、電子ビームの照射またはコロナ放電シャワーを浴びせることによりカーボン・ナノチューブを帯電させ、回転ドラムを回転させることにより、帯電しなかった金属タイプのカーボン・ナノチューブを回転ドラムから除くことにより金属タイプのカーボン・ナノチューブと絶縁タイプのカーボン・ナノチューブとを分離することを特徴とするカーボン・ナノチューブの精製法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、カーボン・ナノチューブを他の炭素物質から分離するためのカラム・クロマトグラフィ、超遠心分離、超音波粉碎などの様々な技術的方法を用いたナノチューブの精製法に関する。本発明はカーボン・ナノチューブという新規の物質を工業的、特に電気産業分野のために製造し、使用する上で有効である。

【0002】

【従来の技術】 カーボン・ナノチューブは1991年(Nature, 354, 56-58, 1991)に見えられて以来、1次元細線、触媒など種々の潜在的な応用が期待される新しい材料として世界中の注目を浴びている。最近、我々はカーボン・ナノチューブを大量に合成できる製造方法(特願平4-172242号)について報告している。

【0003】 不活性ガスで満たされた容器の中で炭素アーク放電を起こさせると、C、C₂、C₃などの炭素種を含んだプラズマが発生する。これら小さな炭素種は次第に凝縮し、煤、フラーレン、ナノチューブ、ナノ粒子、さらに高密度の固体の炭素物質などのより大きい構造に成長してゆく。我々は既に、ナノチューブの収率が、それらを生成させる反応容器内の不活性ガスの圧力に決定的に依存することを明らかにしている。不活性ガスの圧力が500から2500 torrの範囲にある場合、ナノチューブの収率は最も高くなる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、最適条件下でも、ナノ粒子はナノチューブとともに生成してしまい、時には、ガラス状炭素やアモルファス炭素などの他の炭素物質も同時に生成する。従って、ナノチューブを利用するためには、合成後にこれらのナノチューブ以外の炭素物質を分離する必要がある。

【0005】 現在までのところ、ナノチューブをナノ粒子、他の炭素物質から分離する方法は報告されていない。

【0006】 本発明は、分離量、大きさおよび電気伝導度に関して均一である良質のナノチューブ材料を得ることを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明はカーボン・ナノチューブが、カラム・クロマトグラフィ、超遠心分離、超音波粉碎などの技術、ならびに界面活性剤の利用により精製および分離が可能であることを鋭意検討した結果なされたものである。

【0008】 さらに、これらの方法を用いることにより、ナノチューブのサイズ分布を狭域化することが可能であり、電気伝導度の異なるナノチューブを分離することが可能である。

【0009】 合成されたナノチューブを含む粗生成物を原子間力顕微鏡(AFM)で観測すると、ナノチューブだけが密に詰まった束状繊維部分、ナノ粒子、ガラス状炭素やアモルファス炭素などの無定型炭素から構成されていることが分かる。ナノチューブの束状繊維構造は、微細であることと比較的強固であるため、通常の力学的粉碎では破壊できない。束状繊維構造の破壊には超音波粉碎が有効である。超音波の周波数を28 kHz、45 kHz、100 kHzの3種類組み合わせ使用することにより、ナノチューブの束状繊維構造を完全に粉碎することが可能である(この事実は、AFMの観察から明らかになった)。溶媒中に超音波で分散させた場合、ナノチューブおよびナノ粒子以外の炭素物質は、界面活性剤を使用してもしなくとも、濾過のみでナノチューブおよびナノ粒子から分離することが可能である。ナノチューブの精製において、界面活性剤は次の階段で特別な働きをする。界面活性剤を使用するとナノチューブおよび

3

ナノ粒子を溶媒中に完全に分散させること、すなわち溶媒和させることが可能となる。もし、界面活性剤を添加しないと、ナノチューブ（およびナノ粒子）は、超音波の供給を一旦止めてしまうと同時に凝縮を始めてしまう。従って、界面活性剤の使用は、ナノチューブの可溶化に不可欠である。

【0010】さらに、カラム・クロマトグラフィ法により、ナノ粒子からナノチューブ分離することが可能である。この方法の中でも、物質をその大きさの相違により分離するサイズ排除カラム・クロマトグラフィ法が特に有効である。一般にサイズ排除カラム・クロマトグラフィ法は、タンパク質、核酸や糖類などの生体高分子の分離に用いられる。今回初めて、炭素のみで構成される超微結晶（ただし、分子量的には巨大）であるナノチューブの精製にこの方法を適用し、有効であることが証明された。

【0011】また、濃度勾配超遠心分離による方法は、ナノチューブ、ナノ粒子、その他の炭素物質がそれぞれ異なった形状、大きさおよび比重を持つことを利用し、それぞれを分離する。透過型電子顕微鏡（TEM）およびAFMによって観察を行うと、ナノチューブはアスペクト比の大きな針状構造、ナノ粒子は球状構造、ガラス状炭素、アモルファス炭素は無定型構造と直流アーク放電法で合成される粗生成物の各成分は全く異なる形状と大きさを有することが認められ、また、それぞれの構造の相違に由来して比重も異なる（ナノ粒子の比重）ナノチューブの比重）無定型炭素の比重 $\approx 1.7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ）。これらの実験事実に基づき、ナノチューブをナノ粒子、無定型炭素から分離することに超遠心を応用することを考案し、その有効性を実証した。さらに、分離されたナノチューブの超遠心分離を何度か繰り返すことにより、ナノチューブ自体をその大きさによって分離することも可能である。

【0012】理論的な研究によると、カーボン・ナノチューブはその直径および螺旋度に応じて、金属もしくは絶縁体（バンドギャップの大きい半導体）になる（Phys. Rev. Letters 68, 1579-1581, 1992）。それで我々は、ナノチューブの電気的性質に基づくナノチューブ分離の技術を考案した。この方法は金属タイプと絶縁体タイプのナノチューブの帯

4

電の仕方の違いを利用している。すなわち、ナノチューブを含むサンプルを回転ドラムに乗せ、それに電子ビームを照射、もしくはコロナ放電シャワーを浴びせ、サンプルが帯電できる条件にする。このドラムを回転させると、金属タイプのナノチューブは帯電できないのでドラムから滑り落ちる。絶縁体タイプのナノチューブは帯電した状態にあるのでドラムに静電力で引きつけられ、ドラムの回転で滑り落ちることはない。従って、この方法は金属タイプのナノチューブと絶縁体タイプのナノチューブを分離する上で非常に有効である。

【0013】さらに、均一性の高い、良質のナノチューブを得ることは、ナノチューブを工業的に利用する上で必要不可欠なことである。前述の分離方法を組み合わせることにより、分子量、大きさ、電気伝導性に関して均一である良質のナノチューブを得ることが可能となる。従って、本発明の工業的利用価値は非常に大きい。

【0014】

【実施例】

1) カラム・クロマトグラフィ法によるナノチューブの分離精製

クロマトグラフィ用カラムにSephacrose C1（Pharmacia社製）クロマトグラフィ・ゲルをエタノールとともに充填する。ナノチューブとナノ粒子を含む試料をエタノール中で超音波分散により懸濁させ、その懸濁溶液をカラムに通す。その時、ナノチューブとナノ粒子以外の炭素物質はゲル上部に残り、ナノチューブとナノ粒子ときれいに分散できる。ナノチューブとナノ粒子は展開液とともにゲル中に展開する。そして、分子量、形状に由来する展開速度の相違により、ナノチューブはナノ粒子から分離される。さらに、この方法を用いることにより、分子量の異なるナノチューブを分離することができる。結果の一部を表1に示す。また、東ソー製のTSKゲルセルロースCWまたはメタノール、アセトンナドをゲル濾過クロマトグラフィの充填剤として用い、ドデシル硫酸ナトリウム（SDS）などの界面活性剤を展開液として用いても、上記と同様にナノチューブの分離を行うことが出来る。

【0015】

【表1】

ナノチューブとナノ粒子のカラム・クロマトグラフィによる分離の一例

展開時間の区分(分)	区分に含まれる炭素物質	分子量
0~30	分子量の大きい ナノチューブ	10^8 以上
30~60	分子量の比較的小さい ナノチューブ	10^8 以下
60~90	分子量の比較的大きい ナノ粒子	10^7 以上
90以上	分子量の比較的小さい ナノ粒子	10^6 以下

【0016】2) 超音波粉碎、分離膜を用いたナノチューブの分離精製

ナノチューブ・ナノ粒子を含む試料をエタノールに懸濁させ、超音波粉碎する。ナノチューブ・ナノ粒子以外の比較的小さい炭素物質はガラスフィルター(孔径 $10\mu\text{m}$)で予備的に分離する。次に、得られたナノチューブ・ナノ粒子のエタノール溶液はメンブランフィルター(Millipore社製)に通す。この時、まず、ポアサイズ(孔径)が $8\mu\text{m}$ のフィルターを用いてナノチューブ・ナノ粒子の膜分離を行い、その後、濾過された溶液を順次ポアサイズが $3\mu\text{m}$ 、 $1.2\mu\text{m}$ 、 $0.45\mu\text{m}$ 、 $0.22\mu\text{m}$ のフィルターで濾過してゆく。この一連の膜分離に基づく濾過操作により、ナノチ*

*ューブ(サブ μm から十数 μm)とナノ粒子(直径数 nm から数十 nm)を選択的に分離することが可能である。各々の操作で分離膜上に残ったナノチューブ、ナノ粒子について、表2に記す。さらに、長さの短いナノチューブと長いナノチューブも分離できる。一連の濾過操作に用いるフィルターのポアサイズの間隔を細かくすることにより、より選択的な分離もあ可能である。

【0017】フィルターとしては、マイクロフィルター(富士フィルム社製)、メンブランフィルター(東洋社製)等を用いることができる。

【0018】

【表2】

ナノチューブの分離膜による分離の一例

分離膜の孔径(μm)	分離される炭素固体	長さ(μm)
8.0	ナノチューブ	5以上
3.0	ナノチューブ	2~5
1.2	ナノチューブ	1~2
0.45	ナノチューブ	0.5~1
0.22	ナノチューブ	0.5以下
0.22 μm の分離膜を通り抜けた濾液	ナノ粒子	0.1以下

【0019】3) 超遠心分離によるナノチューブの分離
まず、水にナノチューブ・ナノ粒子を含む試料を懸濁させる。この時、ナノチューブ・ナノ粒子以外の比較的小さい炭素物質をガラスフィルターで取り除いておく。遠心管に密度勾配をつけたショ糖水溶液もしくは塩化セシウム水溶液を入れ、その上に試料水溶液を乗せる。この遠心管を遠心分離機に入れ、遠心を行う。超遠

心は回転数 500rpm (毎分 500 回転)から 5000rpm 、遠心時間は 30 分から 96 時間の間で行った。分離された区画部分はピペットで慎重に採取する方法、もしくは遠心管内部を液体窒素で冷却凍結させ輪切りにして分離する方法で、遠心管から試料を取り出した。例えば、低速(500rpm)、短時間(30 分)の超遠心で、まず、ナノチューブ、ナノ粒子以外の炭素

物質を取り除き、次に、中速(1000rpm)の超遠心でナノチューブとナノ粒子を分離する。さらに、分取されたナノチューブを適当な回転数、遠心時間のもとで超遠心を行うと、ナノチューブを直径と長さの違いによ*

り、分離することが出来る。この結果を表3-1、表3-2に示す。

【0020】

【表3-1】

ナノチューブの超遠心による分離結果の例1
(超遠心回転数: 500rpm, 超遠心時間: 30分)

分取区分	分取される炭素物質
遠心管の底	無定形炭素
遠心管の底より上部上澄み液	ナノチューブ、ナノ粒子

【0021】

※ ※【表3-2】

ナノチューブの超遠心による分離結果の例2
(超遠心回転数: 1000rpm, 超遠心時間: 30分)

分取区分	分取される炭素物質	サイズ: 直径と長さ
遠心管の底	ナノチューブ	5 μ m, 10nm以上
遠心管の底～ 上部1cmの部分	ナノチューブ	5 μ m, 10nm以下
上部1cm以上 の上澄み部分	ナノ粒子	20nm (粒子径) 以下

【0022】

4) ナノチューブの電気的特性による分離精製

静電分離に用いる装置は自作した。この装置は、図1に示すように排気装置1、ガス導入装置2、電子ビームまたはコロナ放電装置3、回転ドラム4とその周辺部品、およびそれら可動部分の制御装置5、試料室6、分離試料受け入れ室7、8で構成される。分離するサンプルは予備的に高温、高真空下で脱気乾燥する。そのサンプルを試料室6に入れ、回転ドラム4上に均一にばらまく。そして、試料に電子ビームの照射またはコロナ放電シャワーを浴びせ、ドラム4を回転させる。この時、金属タ

イプのナノチューブは帯電していないので90°回転させたところで真下の試料受け入れ室に滑り落ちてゆく。一方、絶縁体タイプのナノチューブは帯電しているので、ドラムに精電引力で引きつけられ滑り落ちない。絶縁体タイプのナノチューブはドラムが270°回転したところで試料を掻き落とす。分離されたナノチューブ各々について上記操作を順次繰り返すと、より電気伝導度に関して分離度の高いナノチューブが得られる。表4に分離されたナノチューブの電気伝導度を示す。

【0023】

【表4】

静電分離装置で分離されたナノチューブの電気伝導度

ナノチューブの種類	電気伝導度 ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)
金属タイプ	約 1×10^2
金属タイプ(5サイクル)	約 1×10^3
金属タイプ(10サイクル)	約 5×10^3
絶縁体タイプ	約 1×10^{-1}
絶縁体タイプ(5サイクル)	約 1×10^{-3}
絶縁体タイプ(10サイクル)	約 1×10^{-5}

【0024】

5) 界面活性剤を用いたナノチューブの分離精製
 アーク放電で得られるナノチューブ、ナノ粒子を含む生成物は、一般に知られている溶媒にも全く溶解しない。この性質はナノチューブの分離精製を困難なものにしている。しかし、溶媒に界面活性剤を添加することにより、溶媒に対してナノチューブ、ナノ粒子を可溶化することが可能である。この可溶化はナノチューブもしくはナノ粒子と界面活性剤分子がミセルを形成することにより、親溶媒コロイドとして溶媒中に分散することができることに基づいている。この界面活性剤によるナノチューブの可溶化を利用して、ナノチューブをナノ粒子や他の炭素物質との分離を行う。例を挙げると、水では界面活性剤としてドデシルスルホン酸ナトリウム(SDS)が利用できる。水1000cm³に対して、ナノチューブを含む試料を100mgを入れ、SDSを2×10⁻²モル(約5.77g)を添加し、超音波粉碎を施す。ナノチューブとナノチューブ以外の粒子径の比較的大きな炭素物質をガラスフィルターで除去することにより、試料は親水コロイドとして水に完全に溶ける。SDS、トリ-n-オクチルフォスフィンオキシド、アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム、2-スルホコハク酸ジアルキルアミド、アルキルトリメチルアンモニウムハライド、アルキルポリオキシエチレンエーテル、脂肪酸多価アルコールエステル、p-アルキルフェニルポリオキシエチレンエーテルなどの適当な界面活性剤を選択すれば、他の溶媒でもナノチューブを可溶化できる。

【0025】また、ポリビニアルコールなどの高分子液体は、それ自身が界面活性剤としての性質を持つ。従って、高分子液体中に、他の界面活性剤を添加することなく、ナノチューブ、ナノ粒子をコロイドとして分散させることが可能である。

6) 上記1から5までの精製法を組み合わせた分離方法

以上1)から5)の分離精製法を組み合わせると、ナノチューブをより選択的に分離精製することが可能である。次に組み合わせ例をいくつか挙げる。

【0026】上記6の界面活性剤を用いる方法でナノチューブのコロイド溶液を準備し、2)の超音波粉碎、膜分離による精製法と1)のカラム・クロマトグラフィによる精製法を組み合わせると、ナノチューブを他の炭素物質から分離できるばかりでなく、ナノチューブを大きさと分子量に関して分離精製することができる。さらに、1)、2)、3)、5)の精製法を組み合わせれば、選択性はより向上する。

【0027】上記1)、2)、3)の精製法を用いてナノチューブを大きさと分子量に関して分離精製を行った後、4)のナノチューブの電気的性質を用いた方法で精製分離を行えば、大きさと分子量に関して均一な絶縁体タイプもしくは金属タイプのナノチューブを得ることができる。

【0028】

【発明の効果】本発明により、分子量、大きさおよび電気伝導度に関して均一である良質のカーボン・ナノチューブを分離精製することができる。

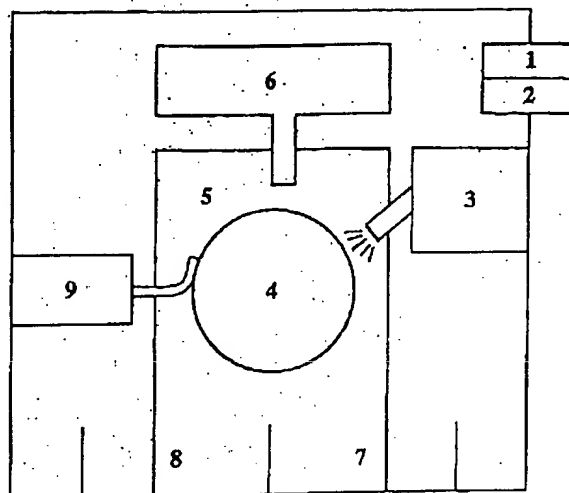
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の静電分離に用いる装置を示す図である。

【符号の説明】

- 1 排気装置
- 2 ガス導入装置
- 3 電子ビームまたはコロナ放電装置
- 4 回転ドラム
- 6 試料室
- 7 分離試料受け入れ室1
- 8 分離試料受け入れ室2
- 9 試料落とし

【図1】



1. 排気装置
2. ガス導入装置
3. 電子ビームまたはコロナ放電装置
4. 回転ドラム
5. 可動部分の射撃装置
6. 試料室
7. 分離試料受け入れ室1
8. 分離試料受け入れ室2
9. 試料落とし